

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

**Aki Törmäkangas**

**Sähkötoiminen putkitarttuja**

Insinööritö 25.4.2010

Ohjaaja: projektipäällikkö Arto Gustafsson  
Ohjaava opettaja: lehtori Timo Tuominen

Tekijä Otsikko	Aki Törmäkangas Sähkötoiminen putkitarttuja
Sivumäärä Aika	44 sivua 25.4.2010
Koulutusohjelma	automaatiotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	projektipäällikkö Arto Gustafsson lehtori Timo Tuominen
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Thermo Fischer Scientific Oy:n TCAutomation-yksikölle. Työn tavoitteena oli etsiä tai suunnitella olemassa olevan pneumaattisen tarttujan tilalle sähkötoiminen.</p> <p>Työ aloitettiin vertailemalla olemassa olevan tarttujan hyviä ja huonoja puolia. Tällä tavalla saatiin aikaan vaatimuslista uudelle tarttujalle. Seuraavaksi etsittiin markkinoilla olevia valmiita vakiotarttujia, joita olisi muokattu tarpeen mukaan. Kun sopivaa vakiotarttujaa ei löytynyt, aloitettiin oman tarttujan suunnitteleminen.</p> <p>Tämän työn tuloksena syntyivät uuden tarttujan työkuvat, joiden pohjalta protolaitetta lähdettiin valmistamaan.</p>	
Hakusanat	Thermo Fischer Scientific, tarttuja, tarttujan suunnitteleminen

## Helsinki Metropolia University of Applied Sciences      Abstract

Author Title	Aki Törmäkangas Electrical tube gripper
Number of Pages Date	44 pages 25 March 2010
Degree Programme	Automation Technology
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Timo Tuominen, Lecturer Arto Gustafsson, Project Manager
<p>This final year project was conducted for the TCAutomation department of Thermo Fischer Scientific Oy. The aim of this project was to search for or design an electrical replacement for the existing pneumatic gripper.</p> <p>The first step of the project was to compare the positive and negative sides of the gripper and thus to identify requirements for the new gripper. The next step was to look for existing basic stock-grippers on the market, which would have been modified if necessary. Since a suitable stock-gripper was not found, we a decision was made to design a new gripper.</p> <p>This final year project resulted in workshop drawings of a new gripper, and a prototype is now being built on the basis of these drawings</p>	
Keywords	Thermo Fischer Scientific, gripper, gripper design

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO .....	6
1.1	Thermo Fisher Scientific .....	6
2	TCAUTOMATION-JÄRJESTELMÄN KUVAUS.....	8
2.1	ES-Flex-syötönlajittelijamoduuli .....	8
2.1.1	Syöttö automaatiojärjestelmään.....	8
2.1.2	Poisto automaatiojärjestelmästä .....	9
3	ROBOTTI .....	10
4	TEHTÄVÄNASETTELU .....	11
4.1	Tehtävä .....	11
4.2	Määrittely .....	11
5	ROBOTITARRAIMET JA TYÖKALUT .....	12
5.1	Tarraimet.....	12
5.1.1	Mekaaniset tarraimet .....	13
5.1.2	Vakiotarraimet.....	16
5.2	Tarttujan suunnittelun ja valinnan lähtökohtia .....	17
5.3	Esisuunnittelu.....	21
5.3.1	Tartunta .....	22
5.3.2	Mekaaninen rakenne .....	22
5.3.3	Tartuntavoima.....	23
5.3.4	Toimilaitteet .....	25
5.3.5	Anturit .....	25
5.4	Suunnittelu .....	27
5.4.1	Turvallisen ja luotettavan järjestelmän kokonaissuunnittelu.....	27
5.4.2	Viimeistely.....	28
5.5	Anturoitu tarrain .....	29
5.5.1	Ohjausjärjestelmä .....	30

6	TYÖN TOTEUTUS .....	32
6.1	Tarttujan mekanismi.....	32
6.2	Rungon ja sormien rakenne .....	32
6.2.1	Alumiini .....	33
6.2.2	Anodisointi .....	33
6.2.3	Kova-anodisointi .....	34
6.2.4	Teflon-tiivistys .....	34
6.3	Moottorin valinta.....	34
6.3.1	Askelmoottorit .....	35
6.3.2	Harjattomat tasavirtamoottorit.....	36
6.4	Moottorin kiinnitys .....	37
6.5	Ylikuormitussuoja.....	37
6.6	Protolaite.....	37
7	YHTEENVETO.....	39
	LÄHTEET .....	40
	LIITTEET	
	Liite 1: Nykyinen tarttuja .....	42
	Liite 2: Vaatimusluettelo.....	43
	Liite 3: Sähkötoiminen tarttuja .....	44

# 1 JOHDANTO

Tarttuja on yksi yleisimmistä robottiin liitettävistä työkaluista. Robotti siirtelee sen avulla kappaleita paikasta toiseen. Tämän työn kohteena oleva tarttuja siirtää näyteputkia näytetelineestä kuljetinalustalle tai toisinpäin

Tämän insinööriyön aiheena oli etsiä tai suunnitella olemassa olevan pneumaattisen tarttujan tilalle sähkötoiminen tarttuja. Idea työn toteuttamisesta lähti tarpeesta saada robottimoduuleista pneumaattiset toimilaitteet pois, koska tällä hetkellä moduulit tarvitsevat paineilmaa ainoastaan kyseisen pneumaattisen tarttujan takia. Työstä on rajattu pois aihealueen laajuuden vuoksi sähkö- ja ohjelmasuunnittelu.

Insinööriyö tehtiin Thermo Fischer Scientific Oy:n TCAutomation-yksikölle.

## 1.1 *Thermo Fisher Scientific*

Thermo Fisher Scientific on maailman johtava tiedettä ja tutkimustoimintaa palveleva yritys, joka toimittaa laitteita laboratorio- ja tuotantoympäristöihin sekä optiselle sektorille.

Yritys tarjoaa täydellisen valikoiman analyttisiä instrumentteja, reagensseja ja kulutustarvikkeita, laboratoriolaitteita, ohjelmistoja ja laboratorioden prosesseja tehostavia palveluja. Konsernissa on noin 34 000 työntekijää 150 maassa, jotka palvelevat yli 350 000 asiakasta lääketeollisuuden ja biotekniikan alalla, sairaaloissa ja kliinisen diagnostiikan laboratorioissa, yliopistoissa, tutkimuskeskuksissa ja valtion laitoksissa sekä ympäristötekniikan ja teollisuuden laadun- ja prosessivalvonnan parissa. Vuoden 2008 liikevaihto oli yli 10 miljardia dollaria. [1]

Thermo Fisher Scientific Oy on osa kansainvälistä, New Yorkin pörssissä noteerattua Thermo Fisher Scientific -konsernia.

Thermo Fisher Scientific Oy kehittää, valmistaa ja markkinoi tuotteita, järjestelmiä ja palveluja tutkimuksen, terveydenhuollon ja teollisuuden laboratorioille. Suomessa yhtiö kehittää ja valmistaa Finn-pipettejä ja pipetinkärkiä, kuoppalevyjä, kuoppalevyinstrumentteja, magneettipartikkeli-prosessoreita sekä Kone-lab-järjestelmiä ja automaattioratkaisuja kliiniseen kemiaan. Thermo Fisherin Vantaan ja Joensuun yksiköissä on yhteensä noin 550 työntekijää. Vuoden 2008 liikevaihto oli 123 miljoonaa euroa. [2]

CDX:n (Clinical Diagnostics Finland) TCAutomation liiketoimintayksikkö myy ja valmistaa asiakkaan automatisointitarpeiden tyydyttämiseksi vakiomoduuleista koostuvia linjastoja potilasnäytteiden käsittelyyn.

Oma tuotanto keskittyy ydinsaamiseen, isompien moduulien loppukokoonpanoon, asiakaskonfiguraation mukaisen linjan kokoonpanoon, testaamiseen ja pakkaamiseen niin, että kokonaisuus on asiakkaalla mahdollisimman nopeasti käyttöönotettavissa. [2]

## 2 TCAUTOMATION-JÄRJESTELMÄN KUVAUS

TCAutomation-järjestelmä on suunniteltu klinisen laboratorion näytteenkäsittelyprosessin automatisointiin. Se koostuu useista moduuleista, joista kukin automatisoi tietyn näytteen käsittelytehtävän. Kyseessä voi olla analyysiä edeltävä tai sen jälkeen toteutettava tehtävä tai tehtävä, joka yhdistää eri analysaattorit suoraan automaatiojärjestelmään. Moduuleja voidaan yhdistää siten, että saavutetaan tarvittava automatisoinnin ja tehon yhdistelmä. [3]

### 2.1 *ES-Flex-syötönlajittelijamoduuli*

ES-Flex-syötönlajittelijamoduulia (Entry Sorter Flex) (kuva 1) käytetään sekä näytteiden syöttöön että poistoon automaatiojärjestelmästä. Moduuli tukee useita putkityyppejä ja -kokoja sekä eri valmistajien näytetelinetyyppejä. Robotti tunnistaa näyteputken korkeuden ja sen korkin. [3]

Jokaiselle vetolaatikoissa olevalle alustalle kuuluu tietty näytetelinetyyppi. Telineetyyppi on kirjoitettu alustan viivakoodiin, jonka robotti lukee ennen toiminnan käynnistymistä. [3]

#### 2.1.1 Syöttö automaatiojärjestelmään

Robotti lukee alustatyypin viivakoodista. Se aloittaa putkien purkamisen näytetelineestä kuljetusalustoille. Näyteputken viivakoodi luetaan ja reittitiedot kirjoitetaan kuljetusalustan tunnisteeseen. Reittikoodi on seuraavan moduulin osoite, ja se sisältää myös näytteen prioriteetin. Reittikoodin kirjoituksen jälkeen kuljetinalusta vapautuu kuljetushihnalle. [3]

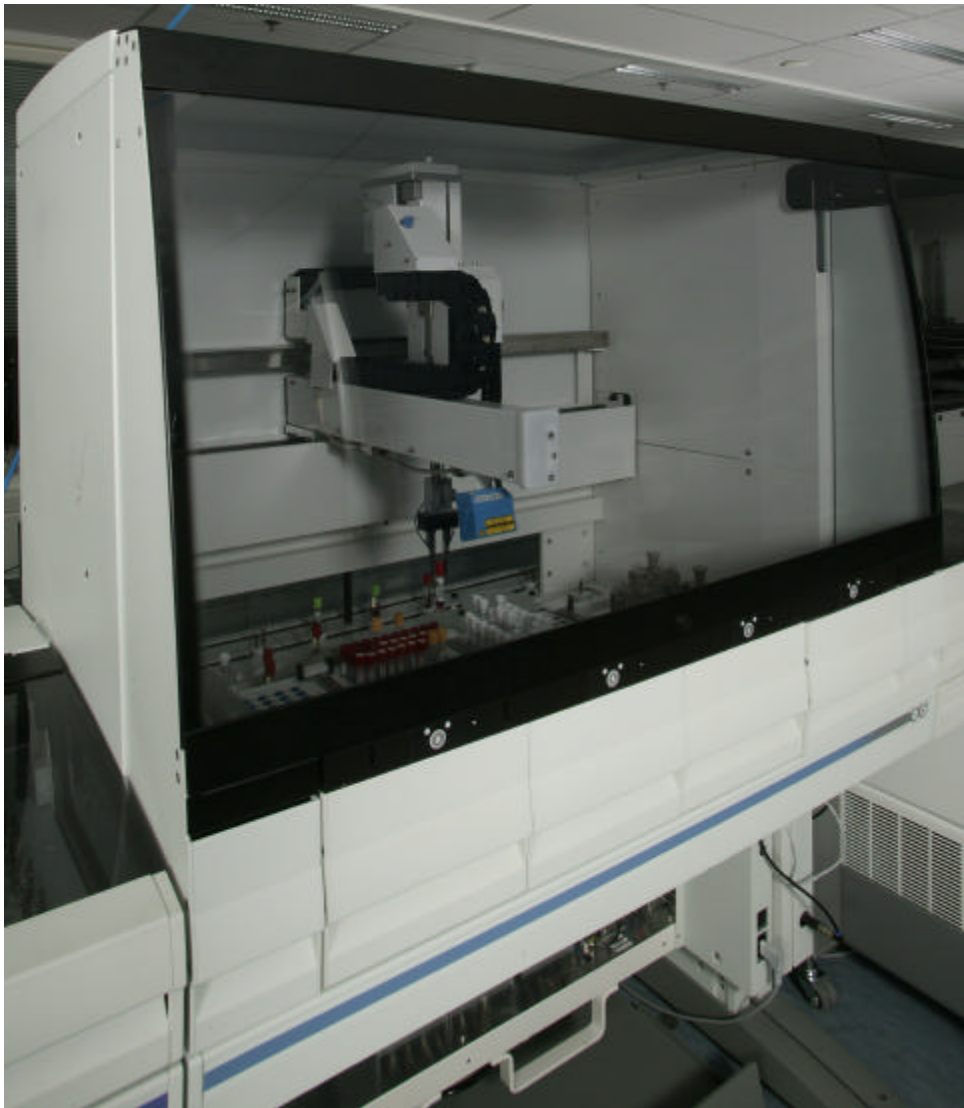
Jos telineiden paikat on määritelty STAT-paikoiksi, robotti purkaa kyseiset näytteet kuljetusalustoille ennen rutiinitoimenpiteiden jatkamista. [3]



### 2.1.2 Poisto automaatiojärjestelmästä

Kun näyte tulee kuljetushihnalta, näytteen viivakoodi ja kuljetusalustan tunniste luetaan. Jos tiedot täsmäävät, robotti lataa putken kuljetusalustalta telineeseen ja vapauttaa kuljetusalustat automaatiojärjestelmään. Näyte lajitellaan näytettä varten tehdyn pyynnön mukaisesti. [3]

Jos TCA-ohjausyksikkö vaatii moduulia lähettämään näyteputken takaisin automaatiojärjestelmään, robotti purkaa näytteen telineestä kuljetusalustalle. Näyte vapautuu takaisin kuljetushihnalle. [3]



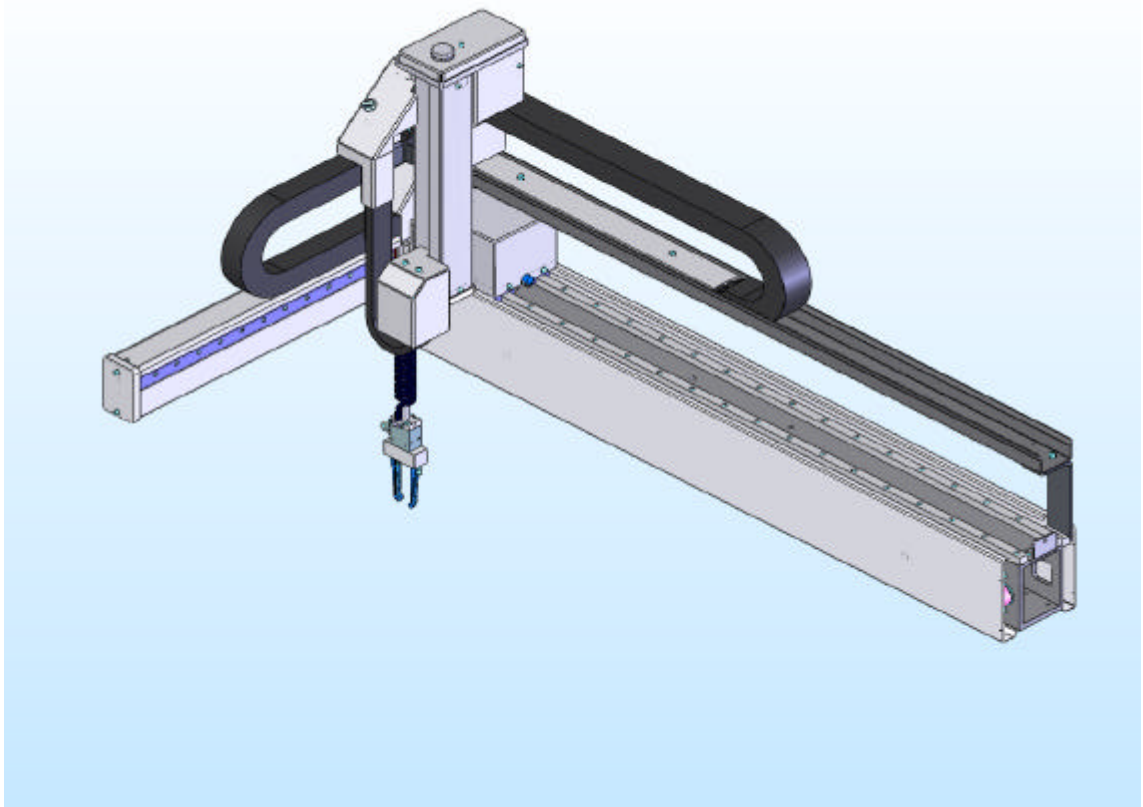
Kuva 1 ES-Flex-syötönlajittelijamoduuli.

### 3 ROBOTTI

Moduulissa käytettävä robotti on tyypiltään karteellinen robotti, jossa robotin kolme pääakselia ovat x, y ja z. Tämän lisäksi robotissa on tarttuvan pyöritysakseli (kuva 2).

Karteellinen robotti on eräänlainen portaalirobotin muunnos. Karteellinen robotti on yhden tukijalan varassa, mutta liikkeet ovat suorakulmaisia, aivan kuten portaalirobotissa. Robotti siis liikkuu joko yhden tai kahden tukipylvään päällä ja kohtisuorasti vaakasuunnassa sekä pystysuunnassa.

Tällä robotti mallilla ei pystytä samoihin kuormapainoihin kuin portaalirobotilla. Karteellinen robotti soveltuu hyvin erilaisten keveiden esineiden nosteluun ja pieniin kokoonpanotehtäviin.



Kuva 2 Robotti.

## **4 TEHTÄVÄNASETTELU**

### **4.1 Tehtävä**

Lopputyön tehtävänä on etsiä tai suunnitella olemassa olevan pneumaattisen tarttujan tilalle sähkötoiminen tarttuja. Tarttujasta haluttaan sähkötoiminen, koska moduulissa ei ole muita pneumaattisia toimilaitteita kuin nykyinen tarttuja sekä sormien liikkeen säädettävyyden takia.

### **4.2 Määrittely**

Tarttuja toimii useita kertoja päivässä, joten rakenteen tulee olla mahdollisimman yksinkertainen ja kestävä. Moduulin ja siinä olevan robotin rakenteesta johtuen, tarttujan tulee olla kooltaan pieni ja painoltaan kevyt. Muita vaatimuksia on esitetty vaatimusluettelossa, joka on liitteenä 2. Vaatimusluettelo on laadittu nykyisessä tarttujassa olevien hyvien puolien ja puutteiden pohjalta (liite 1).

Tarttujan liukupinnat täytyy joko käsitellä jollakin liukkaalla, kiinteällä pinnoitteella tai olla suojattu liukasteena olevan, mahdollisesti tippuvan öljyn tai rasvan varalta. Öljyn tai rasvan tippuessa näytteeseen, se aiheuttaa näytteen saastumisen (kontaminaation) ja näin tuloksesta tulee virheellinen.

## 5 ROBOTTITARRAIMET JA TYÖKALUT

Robotin työkalulla tarkoitetaan sitä mekaanista osaa, jota robotti siirtää asemasta toiseen. Työkaluista tavallisin on tarrain. Toinen ryhmä on johonkin prosessiin osallistuvat työkalut, mm. hitsauspistooli, maalausruisku tai liimasuutin. Myös kombinaatioita esiintyy: esimerkiksi muovipuristinta palvelee robotti, jonka tarrain on varustettu valukanavan katkaisevalla laitteella ja puristinta liukastavalla ruiskusuuttimella. Robottisovelluksessa tarraimen suunnittelu on yksi järjestelmäsuunnittelun välttämättömyyksiä osia. [4, s.60]

### 5.1 Tarraimet

Tarraimen suunnittelussa ja valinnassa on tunnettava mahdolliset tarraintyypit ja tartuntatavat. Tarraimet voidaan jakaa seuraavanlaisiin ryhmiin [4, s.60]:

- Avautuvat ja sulkeutuvat tarraimet tarttuvan liikkeen mukaan; usein tartutaan eri kappaleisiin ulko- tai sisäpuolisella otteella
- Kiertyväsormiset ja rinnakkain suoraviivaisesti liikkuvilla sormilla varustetut tarttujat
- Pneumaattiset, hydrauliset tai sähköiset tarraimet toimilaitteen tyypin mukaan
- Liikkuvien sormien lukumäärän mukaan, kaksi-, kolmi- ja useampisormiset tarraimet
- Jäykät ja joustavat tarraimet
- Kappalekohtaiset tai yleistarraimet sen kappalemäärän mukaan, johon tarraimella voidaan tarttua. ”Mihin tahansa tarttuvaa tarrainta” ei ole
- Keskittävät tarraimet, jotka siirtävät kappaletta otetta muodostaessaan vakioasemaan
- Magneettiset tarraimet
- Alipainetarraimet

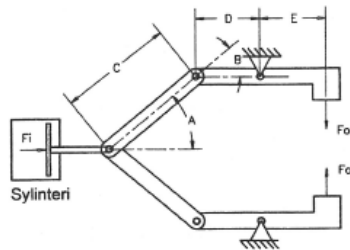
- Sisäisesti laajenevat tarraimet
- Yksittäiset, kaksois- tai revolveritarraimet (monitarrain) sen mukaan, kuinka monta sormiryhmää tarraimessa on
- Älykkäät anturoidut tarraimet, esimerkiksi servotarraimilla sormet saadaan ohjattua mielivaltaiseen avautumaan eli sormien väliseen etäisyyteen; yksittäisellä sormella voi olla oma servotoimilaite
- Erikoistarraimet

### **5.1.1 Mekaaniset tarraimet**

Sormien liikkeet voidaan tuottaa erilaisilla mekanismeilla. Seuraavilla sivuilla esitellään useita erilaisia tarrainmekanismeja (kuva 3). [4, s.60–63]

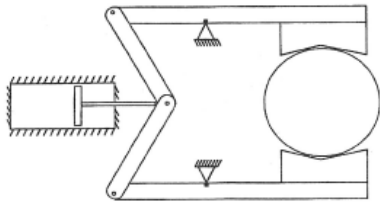
Mekaanisten tarraimien kinemaattiset rakenteet:

- Nivelmekanismit
- Hammaspyörä ja hammastanko
- Epäkesko
- Ruuvi
- Vaijeriväkipyörä
- Sekalaiset

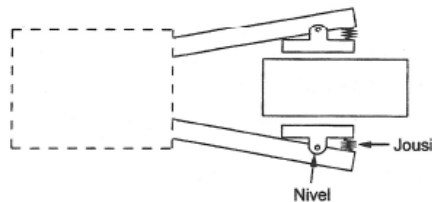


Sormien liike ei ole lineaarinen, sormet kiertyvät nivelpisteen ympäri. Puristusvoima riippuu nivelkulmista. Mekanismin kuolokohdat rajoittavat liikealuetta.

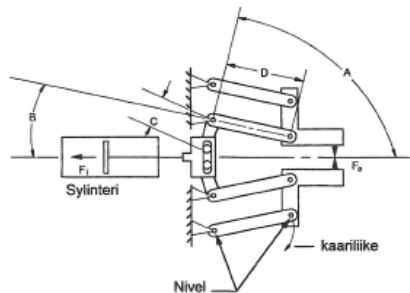
$$F_0 = \frac{F_1 D \sin B}{2 E \cos A}$$



Vipumekanismi voi olla myös sisäpuolinen, jolloin mekanismin koko pienenee. Muotoilemalla sormien kynnet V-prismaattisiksi saadaan sylinterimäisille kappaleille keskitys.

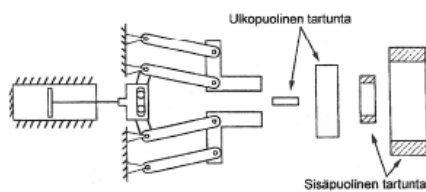


Kynsien laakerointi ja jousikuormitus. Kiertyvä-sormisten tarraimien kappaleen käsittelykykyä voidaan laajentaa suunnittelemalla nivel kynsien yhteyteen. Jousi esikuormittaa kynnet oikeaan asentoon.

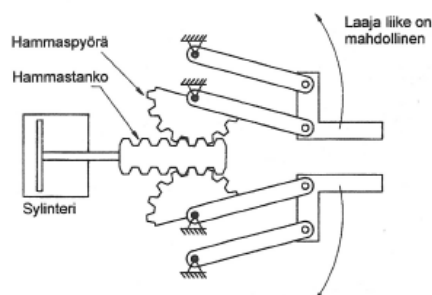


Yhdensuuntainen nelinivelmekanismi. Sormet liikkuvat yhdensuuntaisesti, liike ei ole pelkkä lineaarinen, vaan laaja kaariliike. Erikokoisten kappaleiden etäisyys työkalulaipasta muuttuu.

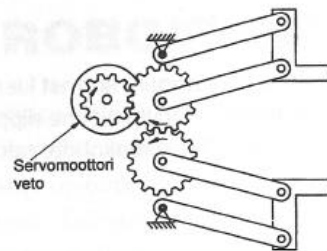
$$F_0 = \frac{F_1 C \sin A}{2 D \cos B}$$



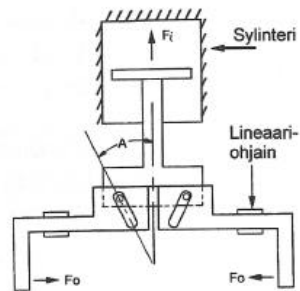
Yhdensuuntainen nelinivelmekanismi. Kappaleisiin voidaan tarttua ulkopuolisella tai sisäpuolisella otteella.



Yhdensuuntainen nelinivelmekanismi. Toimilaitteen ja käyttömekanismin valinnalla saadaan laaja tartunta-alue.

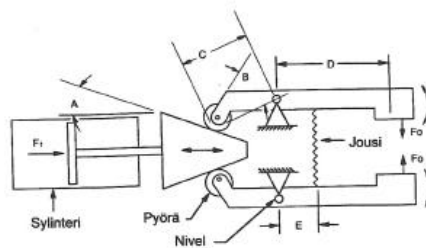


Yhdensuuntainen nelinivelmekanismi. Servomootorilla saadaan hyvä säädettävyys.



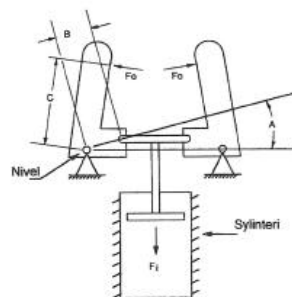
Kartioliukujohde. Lineaariliike, rajoitettu liikealue. Useat kaupalliset tarraimet toimivat tällä periaatteella.

$$F_0 = \frac{F_i}{2 \tan A}$$



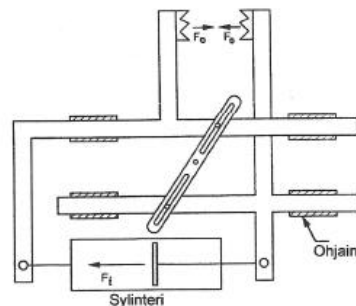
Kartionokkapyörämekanismi. Kuvan tapauksessa mekanismi tarvitsee puristusjousen ( $K$  = jousivakio,  $L_f$  = jousen lepopituus,  $L_0$  = jousen pituus puristettuna).

$$F_0 = \frac{F_i \cos B}{2D \sin A} - \frac{EK(L_f - L_0)}{2D}$$



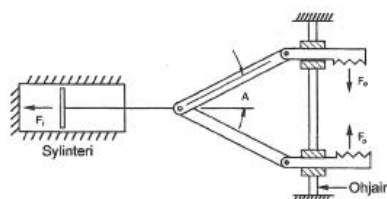
Perinteinen kulmatarrain. Suppea liikealue, mekanismi vaatii toimiakseen välystä.

$$F_0 = \frac{F_i \cos A}{2C}$$



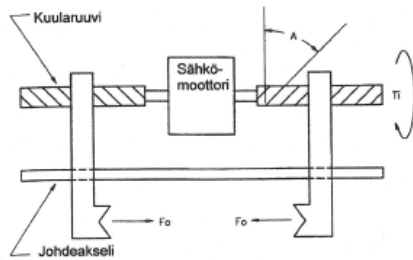
Lineaariliukujohde. Keskittävä mekanismi.

$$F_0 = F_i$$



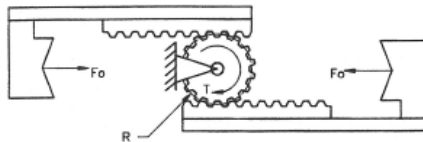
Kaksoisliukunivelmekanismi. Sormilla lineaariliike. Suppea liikealue, mekanismin kuolokohdat rajoittavat.

$$F_0 = \frac{F_i \tan A}{2}$$



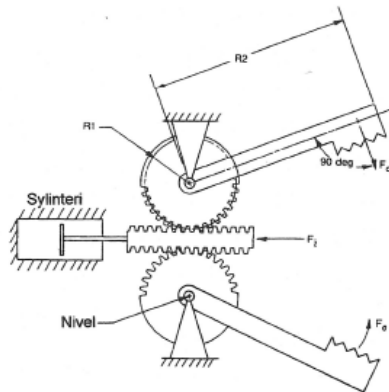
Kuularuuvikäyttö. Laaja lineaarinen liikealue rakennettavissa. Riippuen kuularuuvin nousukulmista, mekanismi on itsepidättyvä. Muistettava mekanismin kitkat.

$$F_0 = \frac{T}{2R \tan A} - F_r$$



Hammaspyörä ja hammastanko. Laaja käsittelyalue, sormilla lineaariliike.

$$F_0 = \frac{T}{2R}$$



Hammaspyörät. Laaja käsittelyalue, kiertyvät sormet.

$$F_0 = F_i \frac{R_i}{2R_2}$$

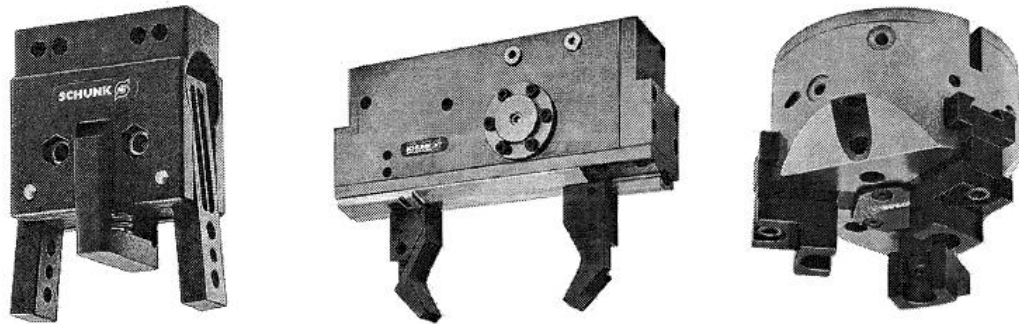
Kuva 3. Tarrainmekanismeja. [5, s.60–63]

Kuvista havaitaan, että tarrain rakentuu toimilaitteesta, mekanismista, sormista ja kynsistä. Yksinkertaisissa tapauksissa voidaan osia yhdistää. Toimilaitteen ja mekanismin valinta vaikuttaa tarttujan liikealueeseen. [4, s.63]

### 5.1.2 Vakiotarraimet

Robottien valmistajat lisäävät usein tuotevalikoimiinsa erilaisia standarditarraimeita tai niiden komponentteja, joista soveltaja voi helposti koota ja muokata haluamansa tarraimen. Markkinoilta löytyy myös robottitarraimien valmistajia. Yleensä tarrain joudutaan rakentamaan kuitenkin sovelluskohtaisesti, yksinkertaisimmillaan muotoilemalla vakiotarraimeen uudet tartuntapinnat. Vakiotarraimeita on esitetty kuvassa 4. [4, s.64]





Kuva 4. Schunk-vakoitarraimia. [4, s.64]

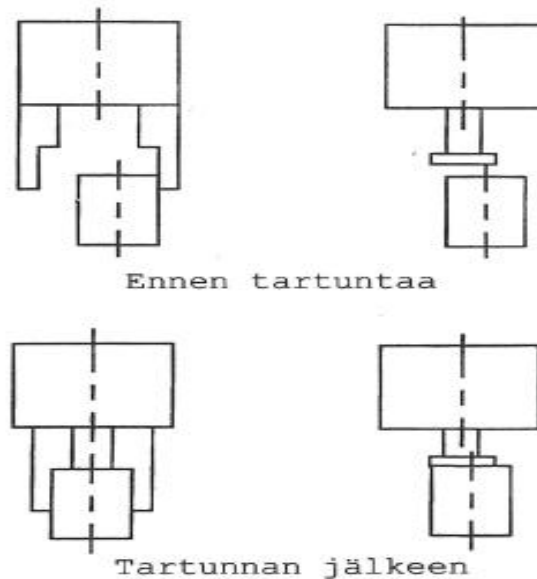
## **5.2 Tarttujan suunnittelun ja valinnan lähtökohtia**

Robottijärjestelmän suunnittelun yksi vaihe on tarttujan suunnittelu, jonka kaksi nyrkkisääntöä on:

- Älä yritä matkia ihmisen toimintoja
- Mieti kokonaisuutta

Robotilla ei ole ihmisen monipuolista aistijärjestelmää, eikä robottia ja ihmistä voi verrata työtehtävissä. Tarraimia ja työkaluja suunniteltaessa on katsottava koko automatisointitehtävää kokonaisuutena, jossa tarraimen tai työkalun suunnittelu on vain pieni, mutta tärkeä osa. Yleisiä toivomuksia ovat yksinkertainen rakenne, pieni koko ja paino, luotettava tartunta, tartuttavien kappaleiden keskitys ja perustilassa kiinni oleva tarrain (kuva 5). [4, s.64–65]

### Keskittävä ja ei-keskittävä tarrain



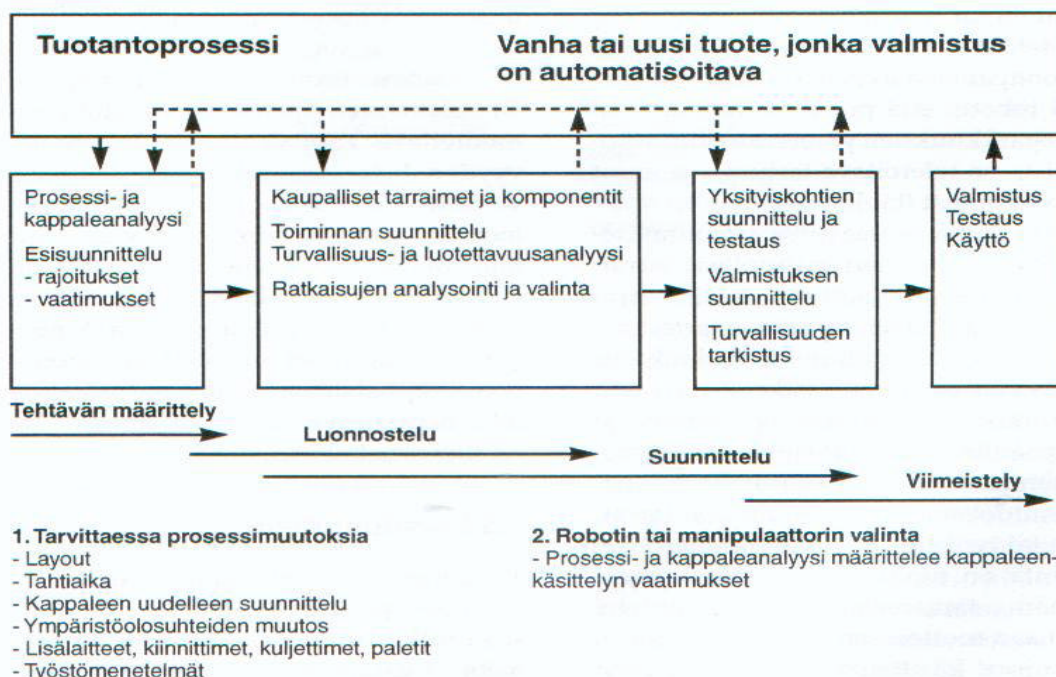
Kuva 5. Keskittävä ja ei-keskittävä tarttuja. [4, s.65]

Tärkeimmät asiat luotettavan toiminnan kannalta ovat robotin hyötykuorma, tartuntamenetelmä, toleranssianalyysi, tarrain luoksepäästävyys ja kunnosapitonäkökohdat. On huomattava, että tarrain ja siirrettävät kappaleet muodostavat yhdessä robotin kuorman - painava tarrain pienentää hyötykuormaa.

[4, s.65]

Suunnittelussa on tärkeää paneutua tehtävän määrittelyyn ja toiminnan suunnitteluun (kuva 6). Tehtävän määrittely perustuu prosessi- ja kappaleanalyysiin. On analysoitava erilaisia vaihtoehtoja: suunnitellaanko käsiteltäviin kappaleisiin yhtenevät tartuntapinnat, jolloin tarrain kannalta kyseessä on samanlainen kappale, vai suunnitellaanko tarrain käsittelemään erilaisia kappaleita. Kappaleiden käsittelykyvyn laajentamiseksi voidaan käyttää monitarrainta tai työkalunvaihtojärjestelmää. On tehtävä toleranssianalyysi, etenkin kokoonpanotehtävissä on analysoitava sekä robotin että prosessin toleranssien ja epätarkkuuksien yhteisvaikutus. Kappaleista on toleroitava tartunta- ja muut prosessipinnat (taulukko 1). [4, s.65–66]

**Älykkään teollisuustarraimen suunnittelukonsepti.**  
**Tarrain on vain osa automaattista tuotantoprosessia tai robottijärjestelmää.**



Kuva 6. Tarttujan suunnittelu on iteratiivinen prosessi. [4, s.65]

Taulukko 1. Tyypillisiä laitteiden toistotarkkuuksia. [4, s.66]

Laite	Toistotarkkuus (toleranssi)	
	(mm)	(mm)
Robotti (koosta riippuen)	$\pm 0,02$	$\pm 1$
Tarrain	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$
Tarrain (tarkkuusjohteet)	$\pm 0,05$	
Työkalun vaihtaja	$\pm 0,02$	
Joustavuuselin	$\pm 0,05$	
Indeksipöytä	$\pm 0,01$	
Palettien paikoitus- asema kuljettimella	$\pm 0,01$	
Palettien pysäytys- asema (stoppari)	$\pm 1$	

Analyysiä seuraavassa esisuunnitteluvaiheessa haetaan mahdollisia tarraimen toimintaperiaatteita, tartuntapintoja ja määritellään tarvittava tarraimen älykkyys eli anturoinnin ja tiedonkäsittelyn tarve. Sen jälkeen on saatu vaatimuksia tarraimelle, prosessille ja kappaleille. Usein kannattaa tehdä prosessimuutoksia tai suunnitella kappaleet uudelleen ottaen huomioon tarraimen tai työkalun toiminta. Monesti järkevintä on tuotteen ja valmistusjärjestelmän samanaikainen

suunnittelu. Vanhaan tuotteeseen ei aina saada automaattisen käsittelyn tai kokoonpanon vaatimia piirteitä. [4, s.66]

Tarraimen vaatimuslistan laadinnassa voidaan tukeutua taulukkoon 2. Tarkistuslista jakautuu neljään osaan: työkappaleeseen, prosessiin, tarraimeen ja taloudellisiin näkökohtiin. Tarkistuslistan päätaso voidaan puolestaan jakaa tarkempiin alemman tason tarkistuslistoihin. Luetteloa on täydennettävä sovelluskohteen mukaisesti. Listaa läpikäydessä syntyy tarraimen vaatimuslista. Muistilista helpottaa systemaattisen lähestymistavan käyttöä tarraimen suunnittelussa. [4, s.66]

**Taulukko 2. Tarttujan valinnassa ja suunnittelussa huomioitavat asiat. [4, s.67]**

<i><b>Työkappale</b></i>	<i><b>Prosessi</b></i>	<i><b>Tarrain</b></i>	<i><b>Taloudelliset näkökohdat</b></i>
<b>Koon, muodon ja massan vaihtelut</b>	<b>Tehtävä</b>	<b>Toiminnalliset</b>	<b>Toiminta, kustannukset ja aika</b>
Tartuntavoima (hauras/kestävä kappale)	Tehtävän laatu	Lisäfunktiot	Hinta
Sormien liike	Toleranssit	- mittaus	Laatu
Toimilaite	Liikeparametrit	- tarkastus/tunnistus	Tehokkuus
Painopiste	-nopeus	-kappaleen keskitys	Lyhyt läpimenoaika
Pinnan laatu	-kiihtyvyys	- mukautuminen	Yrityksen imago
Toleranssit	-tahtiaika	Turvallisuus ja luotettavuus	
	Törmäykset	Laaja käsittelykyky	Automatisointiprojektin yleiset edellytykset
	Tiedonvälitys muiden laitteiden kanssa	Tarkkuus	
<b>Kappaleiden erilaiset materiaalit</b>	-standardi	Kunnossapito	
Materiaalin lujuus	-nopeus	Yhteensopivuus	
Pintapaineen kestävyys	-yhteensopivuus	Asennus	
Tartuntaperiaate	Aistien tarve	Hallittu jousto	
Kitkakerroin	-mittaus	Jäykkyys	
Tunnistettavuus	-tiedonkäsittely	Välykset	
Materiaalivakiot	Mukautumiskyky	Kuluminen	
- lämmönjohtavuus	<b>Ympäristö</b>	<b>Rakenteelliset</b>	
- magneettisuus	Epäpuhtaudet	Pieni koko	
- eriste/johde	-öljy, pöly, jne.	Modulaarisuus	
<b>Kappaleiden asema epämääräinen</b>	- työstölastut	Mekaaninen jäykkyys, keveys	
Kappaleen etsintä	Lämpötila	Antureiden ja toimilaitteiden sijoitus	
Erottavuus	Ilman kosteus	Kaapeleiden sijoitus	
Asema ja asento	Säteily	Ohjauselektroniikan pakkaus	
Luoksepäästävyys	Valaistus	Valmistettavuus	
Apulaitteet	(näköjärjestelmä)	Suojaukset	
	Tärinä	Mekaaninen liityntä	
	Sähkömagneettiset häiriöt	-robotin työkalulaippa	
	Muut laitteet	Sormien vaihdettavuus	
	-yhteensopivuus		

Työkappaleeseen liittyviä ongelmia ovat koon, muodon ja massan vaihtelut sekä erilaiset materiaalit, samoin kappaleen epämääräinen asema. Tuotantoprosessiin liittyvät ongelmat voidaan jakaa tarraimen tehtävään liittyviin sekä ympäristön aiheuttamiin. Nämä edellä mainitut asiat asettavat omat reunaehdonsa tarraimen suunnittelulle. Tarrainta koskevat ongelmat voidaan jakaa toiminnallisiin ja rakenteellisiin ongelmiin. Taloudellisia näkökohtia ei pidä missään vaiheessa unohtaa. [4, s.66]

Prosessia on mahdollisesti muutettava automatisoinnin helpottamiseksi. Oheislaitteiden sijaintia on mahdollisesti muutettava kappaleiden luoksepäästävyys helpottamiseksi. Oheislaitteilla voidaan vähentää kappaleella olevia asemointiin liittyviä epämääräisyyksiä. Tarrain voi puolestaan tehdä osan aikaisemmin oheislaitteella tehdystä valmistusprosessiin kuuluvasta tehtävästä. Ympäristön vaikutukset on otettava huomioon. Kappaleiden uudelleen suunnittelulla nopeutetaan myös automaattista käsittelyä ja kokoonpanoa. [4, s.66]

### **5.3 Esisuunnittelu**

Tarraimen esisuunnittelun pohjana on prosessi- ja kappaleanalyysi. Analyysissä tutkitaan prosessia tarraimen kannalta. Esisuunnittelussa etsitään periaateratkaisuja ja luonnostellaan eri mahdollisuuksia. Kappaleen koko, muoto ja materiaali määräävät käytettävän mekanismin ominaisuudet: tartuntapisteet, voimavälityksen liikealueen ja anturien liittämismahdollisuudet. Toisaalta ympäristö, jossa tarrain toimii – robotin käsivarsi, valmistusprosessi, kokoonpano ja ympäristötekijät – asettaa omat reunaehdonsa. [4, s.66–67]

### 5.3.1 Tartunta

Itse tartuntatapahtuma on analysoitava tarkasti. Tartunta voi perustua kappaleessa oleviin muotoihin (muotosulkeinen tartunta) tai puristusvoimaan (kitkasulkeinen tartunta). [4, s.67]

Kappaleessa olevia uria, kohoumia ja muita muotoja voidaan käyttää hyväksi muotosulkeisessa tartunnassa. Tartunta ei aina ole puhdas kitkatartunta, vaan kitka- ja muotosulkeisen tartunnan yhdistelmä. Tartuntavoiman täytyy olla riittävän suuri pitämään kappale luistamatta paikallaan. Tarpeettoman suuri tartuntavoima voi rikkoa kappaleen. Pieniin tai hauraisiin kappaleisiin tartuttaessa on parempi käyttää muotosulkeista tartuntaa. Tällöin voivat tartuntavoimat olla pienempiä eikä kappale vaurioidu. Puristusvoima voi kohdistua kappaleeseen piste-, viiva- tai pintakuormana. Tarraimen sormiin voidaan lisätä kitkamateriaalia, esimerkiksi kumia. Jos tarraimen sormet on muotoiltu keskittäviksi, liiallinen kitka on kuitenkin haitaksi. [4, s.67–68]

Tartuntaperiaate voi olla myös magneettinen tai alipaineen aiheuttama imu; molemmat asettavat prosessille tai käsiteltävälle kappaleelle omat ehtonsa. [4, s.68 ]

### 5.3.2 Mekaaninen rakenne

Tarraimen suunnittelussa täytyy tehdä valintoja käyttöenergian, toimilaitteen, mekanismin ja sormien sekä kynsien muotoilun suhteen. Toiminnan kannalta tärkeät anturit integroidaan mekaaniseen rakenteeseen tai joissain tapauksissa, esimerkiksi näköjärjestelmä, sijoitetaan keskeiselle paikalle robotin liikeavaruutta. [4, s.68]

Sormet muodostuvat joissakin tapauksissa vipumekanismeista. Kokonaismekanismi on yleensä yhdistelmä kahdesta erilaisesta mekanismista. On syytä pyr-

kiä mahdollisimman yksinkertaiseen rakenteeseen, sillä tarraimen monimutkaisuudessa lisääntyvät myös toimintahäiriöt. Nivelmekanismeissa on aina muistettava nivelkitkojen vaikutus sekä mekanismin kuolokohdat. [4, s.68]

Erilaisia tarraimissa käytettyjä mekanismeja on esitetty kuvassa 3.

### 5.3.3 Tartuntavoima

Kitkasulkeisessa tartunnassa kappaletta paikallaan pitävän kitkavoiman on oltava suurempi kuin gravitaatiosta ja robotin liikkeistä aiheutuva voima. Kitkavoima kappaleen ja tarraimen välillä riippuu puristusvoimasta ja kitkakertoimesta (taulukko 3). [45, s.68]

$$F_k = \mu F_p$$

missä  $F_k$  = kitkavoima kappaleen ja tarraimen välillä

$F_p$  = kappaleeseen kohdistuva kohtisuora puristusvoima

$\mu$  = pintojen välinen kitkakerroin

Taulukko 3. Lepokitkakertoimia eri pintojen välillä. [4, s.68]

<i>Koskettavat pinnat</i>	<i>Lepokitkakerroin <math>\mu</math></i>
<i>teräs / teräs (kuiva)</i>	<i>0,6</i>
<i>teräs / teräs (rasvainen)</i>	<i>0,1</i>
<i>pronssi / teräs</i>	<i>0,5</i>
<i>teflon / teräs</i>	<i>0,04</i>
<i>kumi / kuiva betoni</i>	<i>0,9</i>

Toimilaitteen sormiin välittämä puristusvoima voidaan laskea taulukossa 1 esitetyillä kaavoilla. Muille mekanismeille kaavat johdetaan esimerkiksi virtuaalisen työn periaatteen mukaan. Toimilaitetta mitoitettaessa on muistettava mekanismien kuolokohdat ja nivelkitkat. Toimilaitetta ja mekanisme mitoitettaessa on käytettävä varmuuskerrointa  $n = 1,5-2$ . [4, s.68]

Todellinen kitkakerroin saattaa muuttua 25–100 % riippuen pintojen puhtaudesta, pintojen laadusta, paineesta, voitelusta ja nopeudesta. [4, s.68]

Kappaleen massa ja massakeskipiste vaikuttavat tarvittavaan puristusvoimaan, samoin liikkeiden aikana vaikuttava hidastuvuus tai kiihtyvyys ja luonnollisesti maan vetovoiman kiihtyvyys  $g$  ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ). Mitoitus on tehtävä suurimman kuormitusyhdistelmän eli painavimman kappaleen, maksimikiihdytyksen ja tartuntavoiman normaalin suuntaisen liikkeen mukaan. Robotin nopeassa pyörähdysliikkeessä kappaleen liikemassa ja momentti voivat tulla kolminkertaisiksi lepotilaan verrattuna. Tartuntaa mitoitettaessa kannattaa piirtää vapaakappalekuvio kappaleesta ja tarraimesta. Muotosulkeisissa tartunnoissa kappale ei ole vain kitkavoiman varassa. [4, s.68–69]

Tarrain saattaa myös painua kiinnitintä tai syötintä vasten, asettaa kappaleen väärään paikkaan tai törmätä paletin reunaan, jolloin tarraimeen kohdistuu huomattavia voimia. Voimat voivat vääntää tarraimen sormia auki, jolloin kappale irtaantuu tai liukuu tarraimessa. [4, s.69]

Mekaanisesti tarrain voi myös rikkoutua törmäyksissä. Näihin kuormituksiin voi varautua rakentamalla tarraimeen ylikuormitussuojan tai suunnittelemalla rikkoutuvat osat helposti vaihdettaviksi. Ylimitoitus johtaa vain painaviin rakenteisiin. Ylikuormitussuoja on yleensä jousikuormitteinen laite, jossa mitataan jousien venymän avulla kuormitustilaa. Ylikuormitustilanteessa jouset joustavat, turvakytin aukeaa ja robotti saa virhesignaalin. [4, s.69]



### 5.3.4 Toimilaitteet

Nykytekniikalla voidaan kaikkia käyttölajeja, joista yleisimpiä ovat hydraulikka, pneumatiikka ja sähköenergia, ohjata ja säätää riittävällä tarkkuudella. Tyypillisesti säädetään tarrainvoimaa, tarraimen avautumaa tai molempia. Älykkäissä tarraimissa sähköiset toimilaitteet ovat yleisimpiä hyvän ohjattavuutensa ansiosta. Servopneumatiikka on kehittynyt viime vuosina merkittävästi, ja pneumatiikkaa käytetään entistä enemmän. Hydraulikkaa käytetään haluttaessa suuria tartuntavoimia. [4, s.69]

Tarttujan toimilaitteelta vaaditaan

- hyvää ohjattavuutta
- pientä ja kompaktia kokoa
- helppoa liitettävyyttä mekanismiin [4, s.69 ]

### 5.3.5 Anturit

Tarraimen älykkyys perustuu kykyyn sopeutua joustavasti ympäristön muutoksiin ja tietoon oman toimintansa tilasta. Tiedon aistimiseen tarraimen ympäristöstä ja toiminnasta käytetään antureita eli aistimia. Vähimmäisvaatimuksena on, että tarraimella on kyky ilmoittaa ylemmälle ohjaustasolle tehtävän epäonnistumisesta. [4, s.69–70]

Anturit jaetaan toimintansa mukaan tarraimen sisäistä ja ulkoista tilaa mittaaviin antureihin. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat anturit mittaavat tarraimen toimintaa ja tilaa esimerkiksi sormien avautumiskulman tai -nopeuden perusteella. Jälkimmäiset anturit mittaavat käsiteltävien kappaleiden ja toimintaympäristön suureita. [4, s.70]

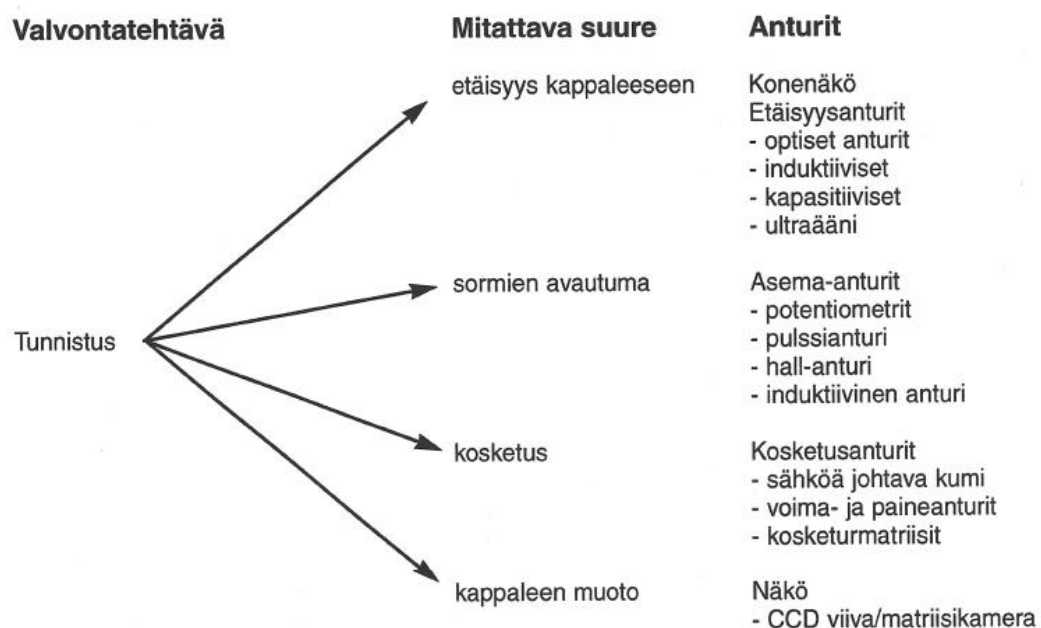
Kappaleen tunnistus voi perustua tuotantojärjestelmältä saatuun tietoon, esim. saattomuistia hyväksikäyttämällä. [4, s.70]

Eri toimintavaiheissa antureilla seurataan eri asioita (taulukko 4). [4, s.70]

**Taulukko 4. Anturoidun tarttujan tarkkailutehtäviä eri toimintavaiheissa. [4, s.70]**

	<b>Tartuntavaihe</b>	<b>Siirtovaihe</b>	<b>Prosessivaihe</b>
<b>Tarraimen tarkkailu</b>	-tarraimen tila -tartuntavoima -törmäys	-tartuntavoima -törmäys	-tartuntavoima -törmäys
<b>Kappaleen tarkkailu</b>	-läsnäolo -tunnistus -asema ja asento -kappaleen tarkistus -tartunta	-luiston valvonta -kappaleen tarkistus -törmäys	-luiston valvonta -törmäys
<b>Prosessin tarkkailu</b>			-läsnäolo -tunnistus -asema ja asento -ympäristön tarkistus -asennusvoima -asennussyvyys

Anturit on valittava ottaen huomioon tarraimen käyttö, ympäristövaatimukset sekä ohjausjärjestelmä. Käsiteltävän kappaleen materiaali on otettava huomioon anturin toimintaperiaatetta valittaessa. [4, s.70 ]



**Kuva 6. Anturin vaihtoehtoja kappaleen tunnistustehtävään. [4, s.69]**

## 5.4 Suunnittelu

Tarraimen suunnittelu voidaan jakaa kahteen vaiheeseen: kehittelyyn ja viimeistelyyn. Kehittelyvaiheessa jalostetaan edelleen esisuunnittelussa rajattuja vaihtoehtoja ja valitaan paras yhdistelmä. Kaupallisia komponentteja kannattaa yleensä käyttää, mikäli mahdollista. Vakiotarraimesta voi kehittää älykkään tarraimen anturoimalla ja muotoilemalla sormia. Älykkäitä kaupallisia servotaraimia löytyy jo valmiina, mutta ne ovat yleensä kalliita. Vakiotaraimia käytettäessä suunnittelutyö helpottuu ja toteutusriskit pienenevät. [4, s.70]

Kehittely alkaa toiminnan, turvallisuuden ja luotettavuuden suunnittelulla. Viimeistelyssä valitaan tarvittavat komponentit ja mitoitetaan rakenne tarkemmin. Tarvittaessa on palattava edellisiin vaiheisiin. [4, s.70 ]

### 5.4.1 Turvallisen ja luotettavan järjestelmän kokonaissuunnittelu

Suunnittelun yhtenä tavoitteena on turvallisen ja luotettavan tuotteen kehittäminen taloudellisesti. Turvallisuustekijät on otettava huomioon suunnittelun kaikilla tasoilla. Tavoitteiden ja vaatimusten määrittelyssä vaikuttavat eri määräykset ja standardit (vrt. luku 14). Samoin tehtävänasettelua määrittävät toiminnoilta edellytetty tehokkuus, turvallisuusvaatimukset sekä taloudellisuus. Suunnittelumenetelmin saadut ehdotukset on arvioitava erilaisin turvallisuus- ja luotettavuusanalyysien, mahdollisesti kokeellisesti tai tietokonesimuloinnilla. Ristiriitavaatimukset ovat hallittavissa kriteerien arvottamisella ja arvoanalyysillä. [4, s.71]

Turvallisesti vikaantuva tarrain [4, s.71]:

- Kappale pysyy tarraimessa myös energiakatkosten aikana (paineakku, jarru, itsepidättyvä mekanismi, jousivoimalla sulkeutuva tarrain)
- Hätä-seis-tilanteessa tai ohjaussignaalin katketessa tarrain säilyttää tar-

tunta- tai avautumatilansa.

- Turva-anturi ovat normaalisti suljettuja, jolloin myös kaapelivika katkaisee virtapiirin.

Tarraimen luotettavuuteen vaikuttavat [4, s.71]:

- Tarraimen mekaaninen luotettavuus eli komponenttien toimintavarmuus, määrä ja järjestelmän rakenne
- Sisäiset häiriöt, esimerkiksi tiedonsiirron häiriöt ja mekaaniset viat
- Ulkoiset häiriö, esimerkiksi vialliset esineet tai poikkeavat olosuhteet
- Vaatimusmäärittelyn riittävyys ja oikeellisuus

Tarrain ja teollisuusrobotti muodostavat yhdessä kokonaisjärjestelmän, jonka turvallisuus ja luotettavuus on suunniteltava kokonaisuutena. Tarraimen osalta turvallisuutta voidaan parantaa muotoilulla ja turvallisesti vikaantuvan toiminnan periaatteella. [4, s.71 ]

#### **5.4.2 Viimeistely**

Tarraimen viimeistelyssä on muistettava vaatimuslistassa esitetyt argumentit. Tarraimen tai työkalun pitäisi olla kevyt, joten alumiinia tai muoveja kannattaa käyttää. Kaupallisesti on jo saatavilla muovista valmistettuja tarraimia. Rakennetta voidaan keventää myös kevennysrei'illä. Tarraimen on oltava pienikokoinen, mutta samalla halutaan kuitenkin laaja erikokoisten kappaleiden käsittelykapasiteetti. Tarraimen tulee olla riittävän jäykkä ja puristusvoimainen epävarmoissakin tapauksissa. Huolto- ja turvallisuuskohdat on myös huomioitava. Hyvä tarrain on luotettava ja kestää kulutusta. Modulaarinen rakenne puolestaan helpottaa kunnossapitoa. [4, s.71]

Tarraimen täytyy olla tukeva ja välyksetön. Robotin 0,1 mm:n toistotarkkuudesta ei ole mitään hyötyä, jos tarraimessa on saman verran välystä tai tarrain ei keskitä kappaletta tartunnan aikana (kuva 5). [4, s.71]

Antureita ja antureiden johtoja suojaava rakenne on tärkeä. Usein joudutaan siirtämään tietoja ja anturisignaaleja nivelten läpi. Johdot on suojattava sekä mekaaniselta kulumiselta että sähköisiltä häiriöiltä. Johdoissa on vältettävä pieniä taivutussäteitä ja johdot on parasta tehdä helposti vaihdettaviksi. Kustannukset on myös otettava huomioon. Yksinkertainen laite on usein luotettavin ja halvin. [4, s.71]

Yksityiskohtien suunnittelussa on erityisen tärkeää huomata kokoonpantavuus, huollettavuus, valmistettavuus sekä kustannukset. Tuotekehittelijöillä ei aina ole riittävää asiantuntemusta valmistustekniikoista; valmistustekniikan asiantuntijoita kannattaa käyttää hyväksi. Yksityiskohtia kannattaa erikseen testata mahdollisemman varhaisessa vaiheessa, esimerkiksi antureiden tarkkuutta ja toimintaa voidaan testata käyttöolosuhteita vastaavassa ympäristössä. Suunnitelman hyväksymisen jälkeen tarttuja tai työkalu valmistetaan, testataan ja otetaan käyttöön. [4, s.71–72]

## **5.5 Anturoitu tarrain**

Seuraavaksi esitetään anturoitujen teollisuustarraimien suunnitteluun ja valintaan liittyviä ja vaikuttavia asioita. Asiaa on käsitelty laajemmin MET:n Mekatronikka-sarjan julkaisuissa Heilala et al. (1990), Ropponen & Airila (1989), Lehtinen & Ropponen (1989). Luvussa esitetään kaksi sovellusesimerkkiä anturoidusta tarraimesta. [4, s.72]

Tarrain voidaan varustaa omalla ohjauksella, jotta se kykenee mukautumaan ympäristön tai prosessin muutoksiin vastaanottamalla, käsittelemällä ja lähettämällä edelleen tietoa omasta toiminnasta, ympäristöstä sekä muilta laitteilta.

Älykkäällä toiminnalla voidaan estää tuotantokatkoksia, sillä tarraimen välittämän tiedon perusteella tunnistetaan virhetilanteet ja selvitetään ne.

[4, s.72]

Tarraimen ja robottijärjestelmän suunnittelu vaatii usean tekniikan alan osaamista. Anturoidun tarraimen suunnittelun kannalta keskeisiä osa-alueita ovat tarrainmekaniikka, toimilaitteet, anturit ja ohjausjärjestelmät. Anturien integroiminen tarttujaan ja anturiviestin välitys ohjausyksikköön ovat älykkään toiminnan kannalta hyvin tärkeitä. Tarvittavien ohjaus- ja mittausmenetelmien on oltava tiedossa jo mahdollisimman varhaisessa suunnitteluvaiheessa.

[4, s.72]

Antureiden sijoitus, dimensiot, tehonsyöttö, kaapelointi ja suojaus on muistettava kaikissa suunnittelun vaiheissa. [4, s.72]

Älykkäässä tarraimessa toimilaitetta, mekanismia, työkappaletta ja ympäristöä valvotaan aistimin. Toimilaitteen ja mekanismin asentoa sekä nopeutta mitaamalla saadaan takaisinkytkentätietoa tarttujan sisäisestä tilasta. Ulkoista tilatietoa käytetään ohjaamaan tarraimen ja koko robottijärjestelmän toimintaa.

[4, s.72]

Mekatroniselle tuotteelle on ominaista elektroniikan ja ohjelmiston kiinteä liittyminen mekaaniseen rakenteeseen. Näitä toimintoja, ohjausta ja mekaniikkaa on vaikea suunnitella onnistuneesti erillään. Tarraimen älykkyys asettaakin lisävaatimuksia suunnittelulle. Järjestelmällisestä lähestymistavasta on hyötyä myös turvallisuus- ja luotettavuussuunnittelussa. [4, s.72 ]

### **5.5.1 Ohjausjärjestelmä**

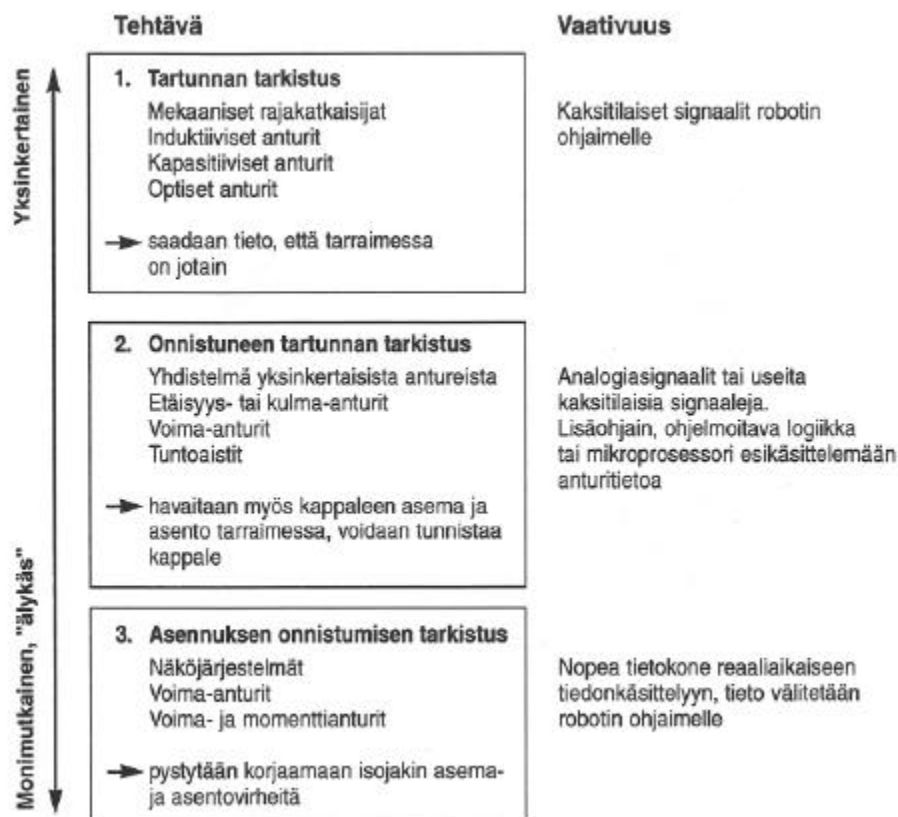
Tarraimen ohjaimena voi toimia robotin ohjausjärjestelmä. Tarraimella voi olla erillinen ohjain tai tarrainta voi ohjata solun keskustietokone suoraan. Anturei-

den välittämän tiedon kasvaessa ja monipuolistuessa vaaditaan myös ohjaukselta enemmän. Tarraimen antureilta kerättyä tietoa käytetään tarraimen ja robotin ohjaamiseen. Robottijärjestelmän tilaa valvotaan myös muilla antureilla. [4, s.72]

Valittu anturiratkaisu vaikuttaa tarraimen ohjauksen suunnitteluun. Tarraimen anturointitarve muuttuu tehtävän vaativuuden mukana. Kehittyneet anturit vaativat enemmän signaalien käsittelykykyä tietomäärän kasvaessa (kuva 7). [4, s.72]

Älykkään tarttujan toiminnot [4, s.72]:

- Anturien luku ja signaalien käsittely
- Tarttujan toiminnan ohjaus
- Kommunikointi robotin kanssa
- Kommunikointi ympäristön kanssa



Kuva 7. Ohjauksen vaativuus kasvaa signaalien käsittelyn monimutkaistuessa. [4, s.73]

## 6 TYÖN TOTEUTUS

Työ aloitettiin perehtymällä olemassa olevan tarttujan hyviin ja huonoihin puoliin. Näin saatiin aikaiseksi vaatimuslista uudelle tarttujalle (liitteet 1 ja 2).

Seuraavaksi tutustuttiin markkinoilla oleviin valmiisiin vakiotarttujiin, joita olisi muokattu tarpeen mukaan. Yhdellä valmistajalla olisi sopiva vakiotarttuja löytynyt, mutta hinta todettiin tarpeeseen nähden kalliiksi.

Kun sopivaa vakiotarttujaa ei löytynyt, aloitettiin oman tarttujan suunnitteleminen. Tarttuja suunniteltiin siten, että vanhat tarttujan sormet käyvät myös uuteen tarttujaan.

### 6.1 *Tarttujan mekanismi*

Tarttujan suunnitteleminen aloitettiin valitsemalla sopiva mekanismi sormien liikkeen aikaansaamiseksi. Vaihtoehtoina olivat kiertyväsorminen nivelmekanismi, kartioliukujohde, hammaspyörä ja hammastanko sekä hammashihnakäyttö. Mekanismit valittiin hammaspyörä ja hammastanko yksinkertaisen rakenteen aikaansaamiseksi.

### 6.2 *Rungon ja sormien rakenne*

Tarttujan rungon, sivutukien ja sormien ym. valmistusmateriaaliksi valittiin alumiini, jonka valintaa puoltaa sen hyvä lujuus, keveys ja helppo työstettävyys.

Tarttujaan ei haluttu erillisiä liukujohteita tai -laakereita kasvattamaan tarttujan kokoa ja painoa, vaan liukupinnat tehtiin suoraan rungon ja sormien välisiin pintoihin. Tästä syystä rungon ja sormien pintakäsittelyksi valittiin kova-anodisointi



joka jälkikäsiteltiin Teflon (PTFE) -käsittelyllä. Muiden alumiiniosien pintakäsittelyksi valittiin normaali anodisointi.

### **6.2.1 Alumiini**

Alumiinin keveys, lujuus, korroosion kestävyys, kierrätettävyyden, kulutuskestävyys, sitkeys sekä sähkön- ja lämmönjohtavuus tekevät siitä ainutlaatuisen materiaalin käytettäväksi lukuisissa monipuolisissa sovellutuksissa. [5]

Alumiini on erittäin kevyt metalli, jonka ominaispaino on  $2,7 \text{ kg/dm}^3$  eli noin kolmannes teräksen ominaispainosta. Erilaisia alumiiniyhdisteitä hyväksikäyttäen sovellutuskohdaiset lujuusominaisuudet voidaan ottaa huomioon. [5]

Alumiini kehittää reagoidessaan hapen ja veden kanssa metallin pintaa suojaavan oksidipinnan. Oksidi on erittäin kova ja hyvin kulutusta kestävä alumiinin suola, jota käytetään myös korkealujuusterästen työstämiseen. [5]

Alumiini on täysin kierrätettävä materiaali, jonka kierrätys on teknisesti ja taloudellisesti kannattavaa. Suomessa ei ole alumiinin primäärituotantolaitosta. Kaikki Suomessa käytettävä alumiini on tuotua tai kierrätettyä. [5]

### **6.2.2 Anodisointi**

Anodisointi on sähkökemiallinen prosessi, jossa alumiinin pintaan muodostetaan luontaisenkaltaisen, halutun paksuinen, tiivis ja pysyvä oksidikerros. Anodisoinnilla lisätään alumiinin korroosiokestoa ja saadaan edullisesti miellyttävä ulkonäkö monin eri värein. Oksidikerros on myös erittäin kova ja antaa hyvän kulumista ehkäisevän pinnan. [6, 7]

### 6.2.3 Kova-anodisointi

Kova-anodisointi on sähkökemiallisesti alumiiniseoksiin syntyvä alumiinioksidikerros  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , jonka kovuus on 60–70 HRC ja pinnan paksuus 10–50  $\mu\text{m}$ . Kova-anodisointi antaa erinomaisen korroosiosuojan ja kulutuskestävyyden hankausta vastaan sekä tasaisen pinnoituksen myös reikiin ja kierteisiin. Kova-anodisointia käytetään kulutusta vaativissa osissa ja paikoissa. [8]

### 6.2.4 Teflon-tiivistys

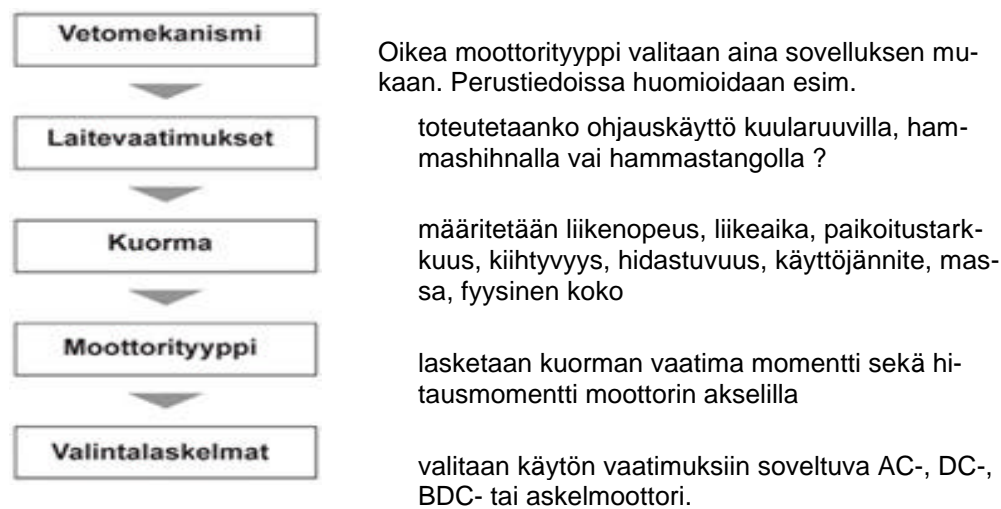
Pinnoite voidaan kyllästää Teflon-liuoksella, jolloin pinnalle saadaan erinomaiset ja kestävät liukuominaisuudet, samalla korroosiosuoja paranee. [8]

## 6.3 Moottorin valinta

Kun moottoria lähdetään valitsemaan sovellukseen, on hyvä miettiä, mitä moottorilta tarvitaan. Tarvittava käyttöikä, pyörimisnopeus, vääntömomentti, teho ja suojausluokka (IP-luokitus) ovat ensisijaisia valintakriteereitä. [9]

Tarvittava vääntömomentti ja pyörimisnopeus saatiin suoraan Mekanex Oy:n laskentaohjelmalla ”Vääntömomentin laskenta hammastankokäytölle”, ja tehon laskemiseksi on olemassa yksinkertainen laskukaava, joka antaa noin arvon. Kaava on seuraava: [9,11]

Nopeus x vääntömomentti x 0,1 = tarvittava teho vaihteen akselilta (P2).



Kuva 8. Moottorin valinta [10]

Tarttujan moottoriksi valittiin harjaton tasavirtamoottori, johon valittiin samalla vaihteisto sekä pulssianturi. Askelmoottori hylättiin kokoonsa nähden pienen vääntömomentin takia.

### 6.3.1 Askelmoottorit

Askelmoottori on sähkömoottori, joka ei pyöri vapaasti, vaan jota ohjataan askelittain. Moottorin yksi kierros jaetaan siis useampaan askeleeseen, joiden mukaan moottori voi pyöriä. Askelmoottoria on ohjattava erillisellä ohjauspiirillä, joka säätelee mihin, suuntaan ja kuinka paljon moottori pyörii. Tällaista moottoria voidaan ohjata hyvinkin tarkasti, jopa puoli astetta kerrallaan. [12]

Askelmoottorin toiminta perustuu sen sisällä oleviin sähkömagneetteihin. Niiden magneettikenttää muuttelemalla saadaan moottori liikkumaan. Kuhunkin magneettiin vuorollaan johdetaan virtaa, jolloin se vetää puoleensa moottorin sisällä pyörivää roottoria. [12]

Askelmoottorit voidaan jakaa kolmeen ryhmään, jotka ovat seuraavat [12]:

- kestmagneettiaskelmoottorit
- reluktanssiaskelmoottorit
- hybridiaskelmoottorit.

Askelmoottoreista ei saada kovinkaan suurta vääntömomenttia aikaan. Moottorin tuottama momentti on suurin, kun se pyörii hitaasti, ja momentti pienenee sitä mukaa, kuin moottorin kierrosnopeus kasvaa. Tämä johtuu siitä, että momentti on suurimmillaan silloin, kun sähkömagneettiin johdetaan eniten virtaa. Mitä nopeammin moottori pyörii, sitä vähemmän aikaa magneettiin johdetaan maksimivirtaa, jolloin ei tuoteta enää niin suurta momenttia. [12]

### **6.3.2 Harjattomat tasavirtamoottorit**

Harjaton DC-moottori on kestopagneettimoottori, jossa kestopagneetit ovat roottorissa (= pyörjässä). Täten tässä moottorityypissä ei tarvita kommutaattorirakennetta. Tämän takia harjaton moottori on huoltovapaa. Ainoa harvoin huoltoa tarvitseva kohde on moottorin päätylaakerit. Lisäksi harjattomat moottorit ovat hyötysuhteeltaan erinomaisia harjallisiin moottoreihin verrattuna, koska harjattomassa moottorissa ainoa kitka on kuulalaakereissa. Tästä seuraa se, että moottorin teho ja ajoaika kasvavat huomattavasti. Hyötysuhteesta on myös se etu, että moottori lämpenee huomattavasti vähemmän, ja lämpö on yleensä helpommin siirrettävissä moottorista ulos kannussa olevan käämityksen takia. [13]

Roottorin aseman takaisinkytkentä on tehty kolmella Hall-anturilla, jotka on asennettu moottoriin. Kaksinapainen säätömagneetti ja Hall-anturit muodostavat 120° vaihesiirron, antaen kuusi erilaista signaalikombinaatiota per kierros. [14]

## **6.4 Moottorin kiinnitys**

Harjattomassa moottorissa käämit voivat olla melkoisen lähellä moottorin asennuksessa käytettäviä ruuvinreikiä, joten asennusruuvien valinnassa täytyy olla tarkkana. Liian pitkä ruuvi tuhoaa helposti käämin ja täten myös moottorin. Moottorin ohjekirjasta on hyvä tarkastaa ennen moottorin asennusta oikean ruuvin pituus. Jos mainintaa ei löydy, kannattaa ruuviehdokas ruuvata kevyesti käsin moottoriin ennen sen asennusta. Heti kun ruuvi ottaa kevyestikin kiinni käämiin, niin ruuvaus lopetetaan ja tarkastetaan, että ulkona olevan ruuvin pituus on selvästi pienempi kuin moottoripukin paksuus. [15]

## **6.5 Ylikuormitussuoja**

Tarttujaan suunniteltiin myös ylikuormitussuoja, jonka tarkoituksena on estää tarttujassa olevan veriputken rikkoutuminen. Putken rikkoutuminen saattaa aiheuttaa kontaminaatiovaaran (muiden näytteiden saastumisen) tai tartuntatauti-riskin.

Ylikuormitussuojassa on kaksi joustaa sekä anturi. Tarttujaan kohdistuessa liian suuren voiman, jouset painuvat kasaan ja anturi tunnistaa vastakappaleen, jolloin robotin liike pysäytetään.

## **6.6 Protolaite**

Ensimmäisenä osat mallinnettiin sekä käytettiin saatavilla olevia valmiita valmistajien tekemiä 3D-malleja. Osista tehtiin kokoonpanoja, joiden yhteydessä osien malleja päästiin tarkastelemaan ja tekemään loppusilaus. Kun mallit näyttivät sopivan yhteen, tehtiin malleista työkuvat. Työkuvien perusteella osat tilattiin alihankkijalta.

Tarttujan osien ja kokoonpanojen suunnittelu sekä työkuvioiden tekeminen tapahtui SolidWorks-ohjelmalla.

SolidWorks on parametrinen 3D-mekaniikkasuunnitteluohjelmisto, joka sisältää tilavuus- ja pintamallinnustyökalut. Ohjelmalla voidaan tehdä kolmenlaisia perustiedostoja: osia, kokoonpanoja sekä valmistuspiirroksia. Nämä ovat toisiinsa sidoksissa siten, että muutettaessa osaa kokoonpanossa myös osatiedosto sekä sen piirustus muuttuvat, tai päinvastoin. [16]

## 7 YHTEENVETO

Lopputyön aiheena oli etsiä tai suunnitella olemassa olevan pneumaattisen tarttujan tilalle sähkötoiminen tarttuja. Työn lähtökohta oli tarve saada robottimoduuleista pneumaattiset toimilaitteet pois, koska tällä hetkellä moduulit tarvitsevat paineilmaa ainoastaan kyseisen pneumaattisen tarttujan takia. Muita tarpeita oli sormien aukeamisen säädettävyys sekä putken halkaisijan mittaust.

Työssä käsiteltiin tarttujan suunnittelun teoriaa ja varsinaista suunnittelua. Työssä vertailtiin DC- ja askelmoottoreita sekä erilaisia alumiinin pintakäsittelyjä ja niiden soveltuvuutta kyseiseen tarkoitukseen. Työstä rajattiin pois aihealueen laajuuden vuoksi sähköjen ja ohjelman suunnittelu.

Työn ensisijainen tavoite, tarttujan suunnitleminen ja työpiirustusten laatiminen, saavutettiin. Työn yhtenä tuloksena syntyi mallinnettu tarttuja. Kyseinen malli on vielä konsepti, ja sitä saatetaan suunnitella osittain uudelleen. Tämän opinnäytetyön tuloksena tehtiin työkuvat, joiden perusteella tilattiin alihankinta- ja osto-osat. Prototyypin kokoonpano sekä asennus tullaan tekemään kevään aikana. Tarttujaa testataan aluksi DC-moottorin ohjaimen omalla ohjelmalla, ja tulevaisuudessa sille tehdään ohjaus robottimoduulin ohjelman yhteyteen.

## LÄHTEET

1. Thermo Fisher Scientific 2008 Annual Report. <<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=89145&p=irol-reportsannual>>. Luettu 25.1.2010
2. Thermo Suomi Intranet (27.1.2010)
3. TCAutomaatio tuotannon kuvaus ver. 03 (2008)
4. Toim. Risto Kuivanen: Robotiikka. Talentum Oyj, 1999. ISBN 951-9438-58-0.
5. Alumiini materiaalina (WWW-dokumentti). <<http://www.teknologiateollisuus.fi/fi/ryhmat-ja-yhdistykset/alumiini-materiaalina.html>>. Luettu 14.4.2010
6. Anodisointi (WWW-dokumentti). <<http://www.bodycote.fi/fi/mainframe/anodisointi.htm>>. Luettu 14.4.2010
7. Anodisointi (WWW-dokumentti). <<http://www.pinnoitushelin.fi/anodisointi.php?lang=fi>>. Luettu 14.4.2010
8. Kova-anodisointi (WWW-dokumentti). <<http://www.tumo.com/index.php/kova-anodisointi>>. Luettu 14.4.2010
9. Moottorin valinta (WWW-dokumentti). <<http://www.movetec.fi/fi/moveinfo1009/>>. Luettu 14.4.2010
10. Moottorin valintaopas (WWW-dokumentti). <<http://www.oem.fi/moottori/valintaopas.html>>. Luettu 14.4.2010
11. Vääntömomentin laskenta hammastankokäytölle (WWW-dokumentti). <[http://www.mekanex.se/ber/fi-vridmom\\_kuggstang.shtml](http://www.mekanex.se/ber/fi-vridmom_kuggstang.shtml)>. Luettu 14.4.2010
12. Askelmoottorit (WWW-dokumentti). <<http://kompo2010.wikispaces.com/Askelmoottori>>. Luettu 14.4.2010
13. Harjattomat tasavirtamoottorit (WWW-dokumentti). <[http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/HonHar/ma/SVTEK\\_S%C3%A4hk%C3%B6moottorit\\_1.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/HonHar/ma/SVTEK_S%C3%A4hk%C3%B6moottorit_1.pdf)>. Luettu 14.4.2010
14. Harjattomat tasavirtamoottorit (WWW-dokumentti). <<http://www.wexon.fi/sivu.php?id=85>>. Luettu 14.4.2010



15. Sähkömoottorit (WWW-dokumentti).  
<<http://personal.inet.fi/koti/liljeroos/sahkomoottori/sahkomoottori.html>>.  
Luettu 14.4.2010
16. SolidWorks (WWW-dokumentti).  
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>>. Luettu 14.4.2010

***Liite 1: Nykyinen tarttuja***

Hyvät puolet:

- Putken korkeuden mittaus
- Korkintunnistus (tunnistetaan onko putkessa korkki)
- Vakiopuristusvoima
- Koko

Huonot puolet:

- Ei putken halkaisijan mittausta
- Aukeama ei ole säädettävissä
- Vaatii paineilmatulon laitteisiin (sekä suodattimen, säätimen, venttiilin ym.)

## ***Liite 2: Vaatimusluettelo***

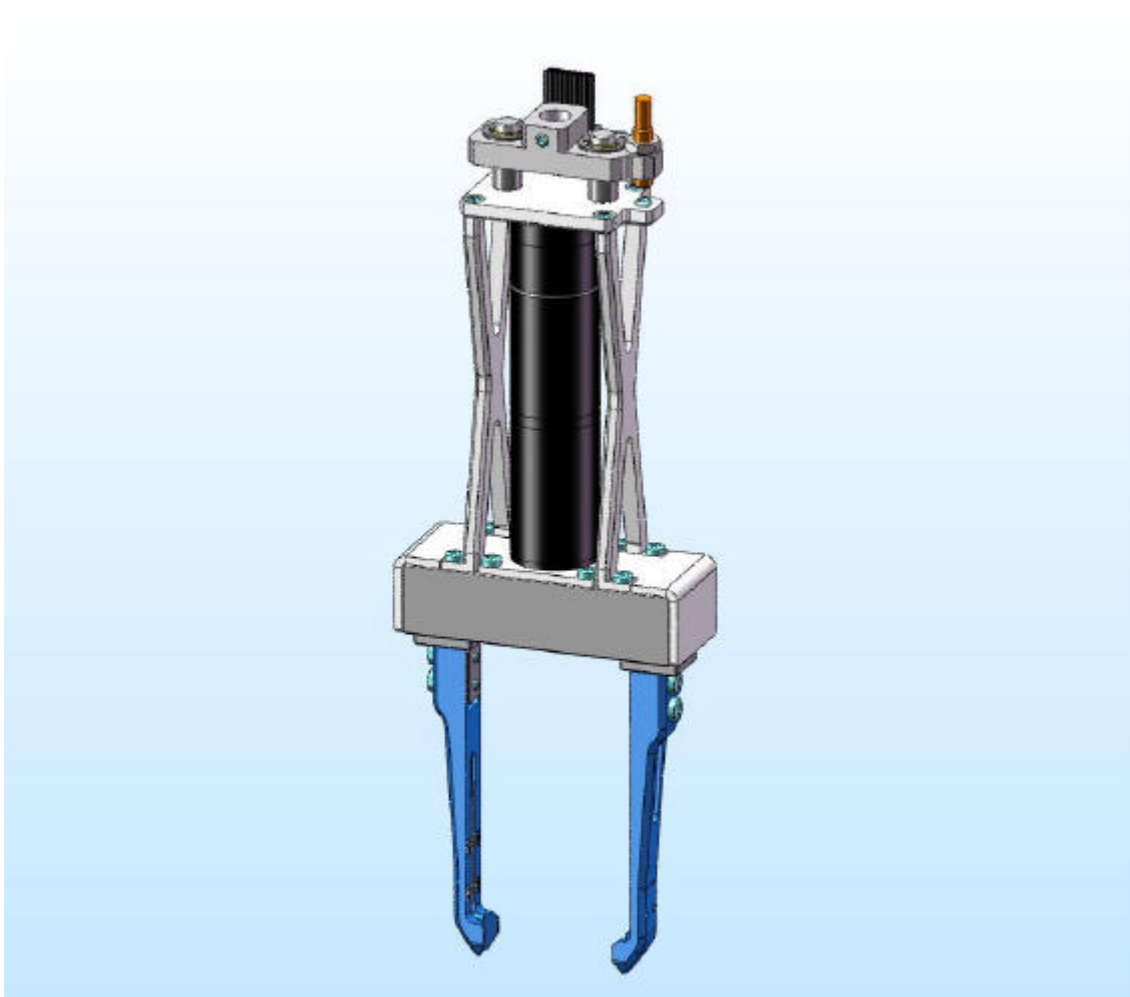
### Tarttuja:

- Koko (mahdollisimman pieni)  
Nykyinen tarttuja kooltaan 90x120x30 (p, l, k)
- Paino (mahdollisimman kevyt, mielellään alle 0,5 kg)  
Nykyisen tarttujan paino 0,2 kg
- Leukojen aukeama yli 14 mm (yli 7 mm/leuka)  
Nykyisen tarttujan leukojen aukeama 14 mm
- Säädetty leukojen aukeama
- Puristusvoima (min 27 N, mielellään säädettävissä oleva)  
Nykyisessä tarttujassa puristusvoima 27 N 6 bar paineella
- Leukojen asennon tunnistus (putken halkaisijan mitta)

### Tarttajakokonaisuus:

- Putken korkeuden mitta (tunnistetaan putken/korkin reuna)
- Korkintunnistus (tunnistetaan, onko putkessa korkki)

### ***Liite 3: Sähkötoiminen tarttuja***



**Kuva 9. Sähkötoiminen tarttuja**